



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Kristjan Loite

**PV PANEELIDE JA AKUPANGA SÜSTEEMI
TASUVUSANALÜÜS ERAMULE**

**COST-BENEFIT ANALYSIS OF PV PANELS AND BATTERY
BANK SYSTEM FOR A SINGLE FAMILY HOUSE**

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: Heiki Lill, MSc

Tartu 2019



Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Kristjan Loite		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: PV paneelide ja akupanga süsteemi tasuvusanalüüs eramule			
Lehekülgi: 43	Jooniseid: 11	Tabaleid: 9	Lisasid: 0
Osakond/õppetool: Energiakasutuse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17. Energeetikaalased uuringud. CERC S-i kood: T140 Energeetika.			
Juhendaja: Heiki Lill			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2019			
Töö keskendub päikeseenergiale ja selle ühele rakendusviisile, fotoelektrilisele päikesepaneelile. Töö annab ülevaate fotoelektrilistel päikesepaneelidel põhinevatest päikeseelektrijaamade tüüpidest ning neis kasutatavate seadmetest. Eesmärk on välja selgitada kui kasulik on Eesti kliimatilistes ja majanduslikes tingimustes võrguühenduseta päikeseelektrijaama rajamine ühepereeramu elektrienergia tarbimise katmiseks. Eesmärgi saavutamiseks uuriti näidiseramu elektritarbimise andmeid ja ehituslikke omapärasid. Vastavalt kogutud andmetele kavandati eramule päikeseelektrijaam ning seejärel analüüsiti selle eeldatavat tootlikkust. Süsteemi tasuvuse välja selgitamiseks võrreldi süsteemi alginvesteeringut ja süsteemi kasutuselevõtuga seotud rahalist kokkuhoidu.			
Märksõnad: taastuvenergia, fotoelektriline paneel, võrguühenduseta, tasuvus.			



Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor’s Thesis	
Author: Kristjan Loite		Curriculum: Engineering	
Title: Cost-Benefit Analysis of PV Panels and Battery Bank System for a Single Family House			
Pages: 43	Figures: 11	Tables: 9	Appendixes: 0
Department/ Chair: Energy Engineering Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering 4.17. Energetic research. CERC code: T140 Energy research. Supervisor: Heiki Lill Place and date: Tartu 2019			
<p>This thesis is focused on solar energy and one of its implementation methods, photoelectric solar panels. This thesis gives an overview about solar power plant types and equipment used in those systems. The aim is to understand how beneficial it is in Estonian climatic and economic conditions to set up an off grid solar power plant to cover private household electricity consumption. To achieve the goal, private household electricity consumption and constructional peculiarities were analyzed. According to the data collected, solar power plant was planned and then the expected output capacity was analyzed. To find out how beneficial this system would be, the initial investment and financial savings of when the system would be in work were compared.</p>			
Keywords: Renewable energy, photoelectric panel, off-grid, profitability			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. PÄIKESEELEKTRIJAAMADE KASUTAMINE ELAMUEHITUSES	7
1.1. Taastuvenergiaallikad ja nende kasutamine elektrienergia tootmiseks.....	7
1.2. Päikeseelektrijaamade kasutamine elektrienergia tootmises Euroopas ja mujal maailmas.....	8
1.3 Päikeseelektrijaamade kasutamine Eestis elektrienergia tootmises	10
2. PV TEHNOLOOGIAL PÕHINEVATE PÄIKESEPANEELIDEGA PÄIKESEELEKTRIJAAMADES KASUTATAVATE TEHNOLOOGIATE ANALÜÜS	13
2.1. PV paneelide liigitus.....	13
2.2. PV tehnoloogial põhinevate päikeseelektrijaamade liigitus.....	16
2.2.1. Maapinnale rajatud PV park	16
2.2.2. Veekogul ujuv PV park	17
2.2.3. Katusele paigaldatav päikeseelektrijaam.....	17
2.2.4 Fassaadile asetuvad PV paneelid	20
2.3. Võrguühenduseta süsteem	21
2.4. Eramute valmidus päikeseelektrijaamade kasutamiseks.	24
2.5. PV tehnoloogia tulevik	24
3. ÜHEPEREERAMULE SOBIVA PÄIKESEELEKTRIJAAMA PÕHJENDUS	26
3.1. Näidiseramu üldine kirjeldus.....	26
3.2. Näidiseramu elektrisüsteem ja -tarve.	26
3.3. Valitud päikeseelektrijaama tehniline kirjeldus.	28
3.3.1. Valitud päikesepargi tüübi kirjeldus.....	28
3.3.2. Valitud päikesepaneelide kirjeldus.	28
3.3.3. Valitud akupanga süsteemi kirjeldus.	29
3.3.4. Valitud inverterite ja laadmiskontrollerite kirjeldus.....	31
3.4. Päikeseelektrijaama tootlikkus	31
4. TASUVUSANALÜÜS.....	33
4.1 Soetuskulud	33
4.2 Hoolduskulud	34
4.3 Võrguühenduseta päikeseelektrijaamadele makstavad toetused.	34
4.4 Elektriostule võrgust kuluv raha.....	35

4.5 Tasuvus.....	35
KOKKUVÕTE	37
KASUTATUD KIRJANDUS	39

SISSEJUHATUS

Eesti ja ülejäänud maailma jaoks muutub aina tähtsamaks toota elektrienergiat taastuvatest energiaallikatest. Euroopa Liit on kehtestanud liikmesriikidele taastuvate energiaallikate kasutuselevõtu eesmärgid tulevikuks. Uues raamistikus on EL seadnud eesmärgiks, et 2030. aastaks peaks taastuvenergia moodustama ELis tarbitavast energiast vähemalt 27%[1]. Taastuvenergia liike on mitmeid, näiteks: tuule-, bio-, päikese-, geotermiline ja hüdroenergia. Neid kõiki saab vähemal või suuremal määral rakendada ka Eestis EL-i poolt seatud eesmärgi saavutamiseks. Eesmärgi saavutamisse saab panustada iga inimene kui investeerib oma isiklikku elektritootmiseseadmesse. Selles töös käsitletakse ühte taastuvenergia liiki- päikseenergiat ja selle transformeerimise viisi: fotoelektrilist paneeli.

Töö eesmärgiks on välja selgitada kui otstarbekas on Eesti ilmastiku- ja majandusoludes kasutada eramajas elades elektrienergia vajaduse rahuldamiseks akupangaga varustatud päikeseelektrijaama. Kas üldse ja mis tingimustel on võimalik Eestis erasikul oma krundile päikeseelektrijaam rajada. Selle tulemuse saavutamiseks analüüsitakse hetkeolukorda Eesti elektrienergia turul, päikeseelektrijaama seadmete- paigaldus- ja hooldushinda ning kogu süsteemi tasuvusaega ja eluiga. Lisaks sellele uuritakse millised võimalused on seadmete paigaldustoetuse saamiseks väiketootjal.

1. PÄIKESEELEKTRIJAAMADE KASUTAMINE ELAMUEHITUSES

1.1. Taastuvenergiaallikad ja nende kasutamine elektrienergia tootmiseks.

Taastuvenergia on ressurss (nt. päikese-, tuule-, maasoojus- või veelainete energia), mida kasutatakse järjepidevalt või mis taastub erinevate ökosüsteemide ainete ringluse käigus (nt. biomassi energia – puit, energiavõsa, põhk, läga, reovesi jms.), ilma et selle kogus inimtegevuse mõjul väheneks määral, mis ohustaks kohalikke ökosüsteeme[2]. Taastumine eeldab, et ressursse kasutatakse jätkusuutlikult ehk neid ei tarbita rohkemal määral kui juurde tekib, kuna sellisel viisil on antud ressursse võimalik kasutada aastatuhandeid[2].

Taastuvenergiaallikaid on väga erinevaid, iseloomulikumat on tuuleenergia, bioenergia, hüdroenergia, ja päikeseenergia. Järgnevalt kirjeldab autor neid nelja taastuvenergiaallikat lähemalt.

Tuuleenergia on õhu liikumise poolt tekitatud kineetiline energia, mida on inimkond juba pikka aega erinevatel viisidel rakendanud nii laevanduses, toiduainete töötlemisel (tuuleveskid), vee pumpamisel.

Tuuleenergia kasutamine elektri tootmiseks sai alguse 1887. aastal, kui Blyth James, elektriinsener ja ülikooli õppejõud, oma suvilas samal aastal valmistas esimese elektrit tootva tuuliku [3]. Tänapäevaks on tuuleenergia abil toodetud elektrienergia osakaal oluliselt tõusnud, moodustades 2014. aastal 10,2% Euroopa Liidus vajaminevast elektrienergiast [4]. Eestis andis tuuleenergia 2018. aastal 36% taastuvenergia kogutoodangust mis tähendab, et tuuleelektrijaamad tootsid aastas kokku 590 GW/h elektrienergiat[5].

Bioenergia on üks taastuvenergia liike mille all mõistetakse biomassist toodetud energiat-soojust, elektrit ja biokütuseid [6]. Biomassi alla liigitatakse põllumajanduslikust tootmisest (kaasa arvatud taimsed ja loomsed ained), metsatööstusest ja sellega seotud tootmisest pärit

toodete, jäätmete ja jääkide bioloogiliselt lagunev fraktsioon ning tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt lagunev fraktsioon [6]. Bioenergiat kasutavad meist paljud igapäevases elus küttes ahju tahkekütuse katlaga ja -ahjuga või tehes süüa puuküttega pliidil.

Elektrienergiat saab toota biokütustest kahel viisil. Otseselt biomassi põletades ja selle tulemusel tekkinud soojusenergia kasutamisega elektrigeneraatori käitamisel või biomassi muutmisel biovedelkütuseks või biogaasiks ja selle järelprodukti abil elektrienergiat tootes.

Hüdroenergia on oma iseloomult väga sarnane tuuleenergiaga selle erinevusega, et kui tuuleenergia puhul on energiakandjaks liikuv õhk siis hüdroenergia puhul on selleks liikuv vesi. Elektrienergia tootmisel muundatakse liikuva vee kineetiline energia elektrigeneraatori abil elektrienergiaks. Eesti mõistes on selle energialiigi kasutamine üsnagi väikese tähtsusega, kuna Eestis asuvad jõed on liiga väikese vooluhulgaga. Lisaks on Eesti pinnavormi tõttu jõed üsna väikese langusega.

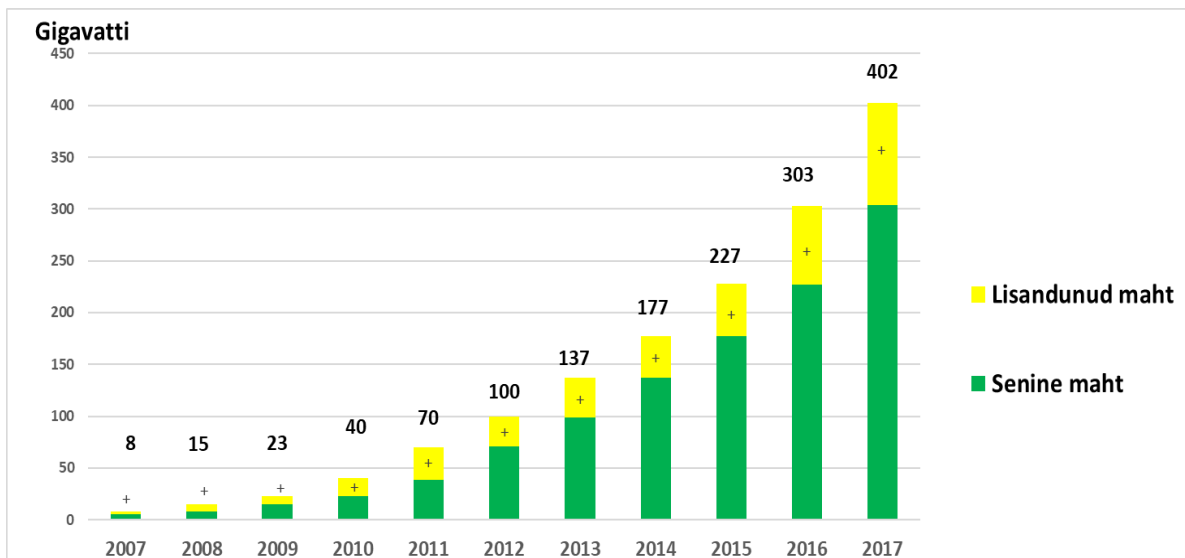
Päikseenergia kasutamise saab rakenduse järgi liigitada kaheks. Esiteks on päikseenergia kasutamine soojusenergia tootmiseks päikesekollektorite abil. Päikesekollektorite tööpõhimõte seisneb selles, et päikeseenergia abil soojendatakse kollektorites asuv energiakandja üles ja energiakandjaga soojendatakse omakorda soojusvahetis kas tarbe- või küttevesi.

Teiseks variandiks on PV-paneelide abil elektrienergia tootmine. PV paneelide tööpõhimõte seisneb selles, et päikeseenergia muundatakse otseselt spetsiaalsete fotoelektriliste elementide abil alalisvooluks mis siis vaheldi abil muundatakse tarbijale sobivate parameetritega vahelduvvooluks.

1.2. Päikeseelektrijaamade kasutamine elektrienergia tootmises Euroopas ja mujal maailmas

Maailmas pööratakse järjest enam rõhku taastuvatele energiaallikatele ja nende kasutamisevõimalustele, kuna inimesed mõistavad üha enam, et senised energiatarbimise harjumused pole jätkusuutlikud. Suure huvi tõttu päikeseelektri tootmise tehnoloogiate järgi arendatakse seda tehnoloogiat järjest rohkem edasi ja suureneva pakkumuse tõttu muutub ka

hind tavakliendile taskukohasemaks. PV paneelide hinna langus ja tootlikkuse tõus peaks jätkuma aastani 2021, millal see saavutab tasakaalu [7]. Installeeritud päikeseelektri kasvu ilmestab joonis 1.



Joonis 1. PV süsteemide ülemaailmne maht ja aastased juurdekasvud 2007-2017[8].

Nagu jooniselt 1 näha on päikeseelektri tootmise maht järjest kasvavas trendis mida ilmestab fakt, et viimase viie aastaga on päikeseenergiast energia tootmise võimekus suurenenud neli korda.

Aasta 2017 oli märgilise tähendusega päikeseelektri tootmise vallas, sest maailmas lisandus mahult kõige enam just seda tüüpi elektrienergia tootmise tehnoloogiat võrreldes teiste tehnoloogiatega. Paigaldatud uute PV süsteemide võimsus oli suurem kui uute fossilkütuse ja tuumaenergiajaamade võimsus kokku. 2017. aastal olid PV süsteemid põhiline uue energiaallika maht mitmel juhtival turul, sisaldades Hiinat, Indiat, Jaapanit ja Ameerika Ühendriike. Ülemaailmselt installeeriti vähemalt 98 GW PV süsteeme suurendades kogumahtu peaaegu 1/3 võrra. [8]

Tabelis 1 on välja toodud veebilehe solarvest.my andmetel koostatud maailma suurimate PV paneelide tehnoloogial põhinevate päikeseelektrijaamade pingerea.

Tabel 1. Maailma suurimad PV paneelidel põhinevad päikesepargid [9]

Jrk. nr.	Pargi nimi	Asukoht	Paneele	Võimus
1.	Tengger Desert Solar Park	Hiina	-	1547 MW
2.	Datong Solar Power Top Runner Base	Hiina	-	1000MW, Plaanis 3000MW[10]
3.	Kurnool Ultra Mega Solar Park	India	4 mln tk.	1000MW
4.	Longyangxia Dam Solar Park	Hiina	u. 4 mln. tk.[9]	850 MW [11]
5.	Enel Villanueva PV Plant	Mexico	2,3 mln. tk.	754 MW[12]
6.	Kamuthi Solar Power Station	India	2,5 mln. tk.	648MW
7.	Solar Star Solar Farm	US	1,7 mln. tk.	579 MW [13]

1.3 Päikeseelektrijaamade kasutamine Eestis elektrienergia tootmises

Koos maailmaga on päikeseelektri populaarsus kasvanud ka Eestis. Kui veel mõned aastad tagasi olid päikesepaneelid eesti elamuehituses pigem harv nähtus, siis hetkel võib järjest enam näha era- ja kortermajasid mille katusele, seintele või krundile on paigaldatud fotoelektrilised paneelid. Hetkel on mitmeid ettevõtteid kes pakuvad eraisikutele „võtmed kätte“ päikeseparkide paigaldusteenust. Üheks selliseks on näiteks Energiapartner OÜ kes kodulehel reklaamib teenust kus pakuvad nõu alates toodangu- ja tasuvusanalüüsist ning projekteerimisest kuni päikeseelektrisüsteemi müügi ja paigalduseni koos kogu asjaajamisega võrguettevõtte ja omavalitsusega [14].

Lisaks sellele on ka paljud tööstused otsustanud oma võrgust ostetava elektrienergia hulga vähendamiseks paigaldada enda territooriumile päikeseelektrijaamad nagu näiteks Tartus asuv trükikoda Greif. Trükikoda kasutas päikesepargi paigaldamisel Eesti Energia pakutatavat teenust, kus Eesti Energia paigaldab ettevõtte territooriumile oma kuludega päikeseelektrijaama ja pärast müüb ettevõttele fikseeritud ja odavama hinnaga elektrienergiat [15].



Joonis 2. Trükikoja Grif Pääkeselektijaam.

Trükikoja territooriumile paigaldatud päikesepark koosneb 800st fotoelektrilisest paneelist mille koguvõimuseks on 200 kW[15]. Selle päikesepargi aastane toodang moodustab 20% ettevõtte aastasest elektrienergia tarbest [15].

Hetke seisuga on Eesti kõige suurem töös olev päikeseelektrijaam Hiiumaal 1,1 MW ja 3240 paneelist koosnev päikesepark. Kui park töötab maksimumvõimusel katab see ligikaudu kogu Kärdla linna suvise tarbimise. [16]

Lisaks sellele, et enda elektrienergia tarbimise katmiseks päikeselektrijaamasid ehitatakse, tehakse seda aina enam ka ärilistel eesmärkidel. Suuremate päikeseparkide tasuvusaeg on lühem ja seetõttu on need ka kasumlikumad. Tihtipeale rajatakse suuremaid päikeseelektrijaamu ka maa-aladele mida on keeruline muudeks otstarveteks arendada, näiteks vanad prügilad, maa-aluste kaevanduste kohal asuvad maad või muud moodi jääkreostusega rikutud maad.

Hetkel avalikult teadaolev suurim päikeseelektrijaam planeeritakse rajada Tartumaale, vana Raadi lennuvälja lähistele [17]. Päikeseelektrijaama hakkab sinna rajama Estiko Energia AS kes plaanib jaama valmimist aastal 2020.

Kehtiva detailplaneeringu kohaselt on planeeritav maa-ala ca. 140 ha mis koosneb Tartu vallas ja Luunja vallas asuvatest katastriüksustest. Päikeseelektrijaama koguvõimsuseks on planeeritud orienteeruvalt 50 MW. Sellele territooriumile päikesepargi rajamise idee ongi ajendatud just sellest, et tegu on osaliselt vana sõjaväelennuvälja territooriumiga ning seetõttu esineb seal osaliselt jääkreostust. Planeeringualale hooneid ei rajata ja lubatud on ainult elektrienergia tootmise ja jaotamise ehitiste (päikesepaneelid, alajaam, invertetid) püstitamine. Päikeseelektrijaam koosneb umbes 190 000st päikesepaneelist millest igaüks on võimsusega 265-270 W. Päikeseelektrijaam on planeeritud maapargina kus paneelid

paigaldatakse tugivaiade abil maapinna kohale. Paneelid asetatakse u. 25-45 kraadise kalde alla orienteerituna lõuna suunas. [18]

Kokkuvõtvalt on Eestis 22.01.2019 seisuga umbes 107 MW kumulatiivselt installeeritud päikeseelektri tootmise mahtu, millest 90 MW paigaldati 2018 aastal tänu uuele taastuvenegiapoliitikale ja vähenenud tollimaksudele. Suurem osa suurest mahu kasvust tuli päikeseelektrijaamadest mis ei ole suuremad kui 50 kW . Käesoleval ja järgneval aastal oodatakse väikeste päikeseelektrijaamade kasvutrendi mis peaks tooma mahukasvu 15 - 18 MW aastas. Ning peale 2020. aastat kui energiatõhususe miinimumnõuded on täielikult jõustunud toovad täiesti uued ja märkimisväärselt renoveeritud majad juurde iga-aastaselt vastavalt 23 MW ja 25 MW tootlikkuse mahtu. [19]

2. PV TEHNOLOOGIAL PÕHINEVATE PÄIKESEPANEELIDEGA PÄIKESEELEKTRIJAAMADES KASUTATAVATE TEHNOLOOGIATE ANALÜÜS

2.1. PV paneelide liigitus

PV paneel on seade mis muundab vahetult päikeseenergia alalisvooluks. Selle tehnoloogia eeliseks on väikesed hoolduskulud ja lihtne paigaldus. Lisaks ei tekita see töö käigus müra, ega muud reostust. PV paneele on aja jooksul täiustatud ja neil on mitu erinevat põlvkonda.

Üks võimalus PV paneele liigitada on nende valmistamise tehnoloogia järgi. Päikesepaneelide areng on läbi teinud 3 etappi mida kirjeldab tabel 2.

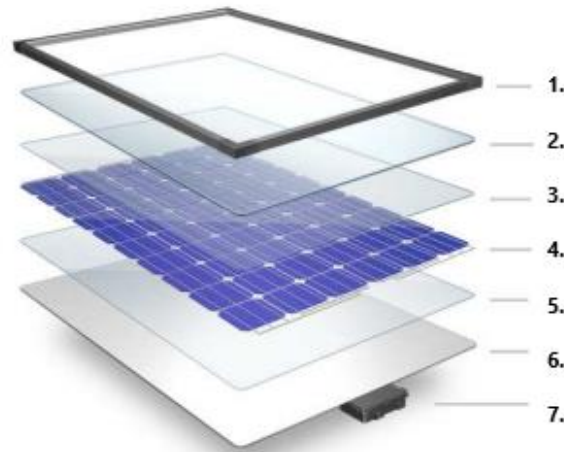
Tabel 2. PV paneelide 3. arenguetappi ja nende omavaheline võrdlus [20]

Arenguetapp	Fotoelektrilise elemendi tüüp	Kasutegur	Eelised	Puudused
1.	Monokristall päikesepaneel (Mono-Si)	u. 20%	Suur kasutegur; kohandatud laiemaks kasutuseks; kõrge eluea väärtus	Kõrge hind
	Polükristall päikesepaneel (p-Si)	u. 15%	Madalam hind	Tundlik kõrgele temperatuurile; lühem eluiga ja natukene väiksem ruumikasutus
2.	Thin-Film: Amorphous Silicon Solar Panels (A-Si)	u. 7-10%	Suhteliselt madal hind; lihtne toota ja paindub.	Lühem garantii ja eluiga
3.	Biohybrid Solar Cell (Alles välja töötamisel)	-	-	-
	Cadium Telluride Solar Cell (CdTe)	-	Madal hind ja kiire tasuvusaeg	Cadium Telluride on süües või sisse hingates mürgine.

Teine viis kuidas päikesepaneele liigitada on nende ehituslike omaduste järgi:

1) Klaas-laminaat (*glass-foil*) tüüpi paneelid.

Klaas- laminaat tüüpi paneelid (joonis 3) on kõige levinumad paneelid oma odava hinna, lihtsa tootmise ja – paigalduse tõttu. Puudusteks on aga väike vastupanuvõime mehaanilistele vigastustele ja kõrgele temperatuurile.



Joonis 3. klaas-laminaat PV moodul [21].

Klaas-laminaat tüüpi päikesepaneelid koosnevad 7st suuremast detailist, mis on välja toodud joonisel 4.

1. alumiiniumraam;
2. karastatud klaas;
3. etüleen-vinüülatsetaadist kaitsekiht;
4. fotoelektrilised elemendid;
5. etüleen-vinüülatsetaadist kaitsekiht;
6. polüvinüülfluoriidist tagumine kaitsekiht;
7. ühenduskarp.

2) Klaas-klaas (*glass-glass*) tüüpi päikesepaneelid.

Klaas-klaas tüüpi päikesepaneelid on klaas-laminaat tüüpi paneelide edasiarendus, sest nende arendatud ehitus muudab nad oma eelkäiaast mehaaniliselt tugevamaks, kõrgele temperatuurile, hapetele ja niiskusele vastupidavamaks. Tänu selle paneelitüübi

vastupidavamale ehitusele pakuvad tootjad seda tüüpi paneelidele ka pikemat garantiid. Puudusteks aga klaas-laminaat tüüpi päikesepaneeli ees on kõrgem hind.

Ehituselt on see üsna sarnane klaas-laminaat tüüpi päikesepaneeliga. Põhiline erinevus on see, et tagumisel küljel on polüvinüülfluoriidist kaitsekihi asemel karastatud klaas, ehk fotoelektrilised elemendid on igast küljest klaasiga kaetud, seega rohkem väliste mõjude eest kaitstud. Teiseks erinevuseks on see, et neid paneele toodetakse ka ilma paneeli ümbritseva alumiiniumraamita.

3) Hübriidpaneelid

Hübriidpaneelid (joonis 4) on kahte päikeseenergia rakendamise viisi (päikesekollektor ja PV paneel) ühendav kombinatsioon. Selle tehnoloogia eeliseks on parem ruumikasutuse-energiatootlikkuse suhe. Antud PV paneelil on parem kasutegur, samuti ka PV elementide eluiga, kuna paneelis ringleb jahutav vedelik.[22].



Joonis 4. Päikesekollektori ja PV paneeli tehnoloogiat ühendav hübriidpaneel [22].

Selle süsteemi üheks miinuseks aga on suur sooja vee tootlikkus. See väljendub kui kasutada eramajas kasutatava elektrienergia tootmiseks ainult seda tüüpi paneele, siis toodab antud paneel nii palju soojendatud vett, et üks majapidamine ei suuda seda ära kasutada (v.a. näiteks basseini olemasolul). Võimalik lahendus probleemile oleks kui kasutada hübriidpaneele ja tavalisi PV paneele kombineeritult. Teisteks miinusteks selle süsteemi puhul on nii soetushind kui ka paigaldushind ja -keerukus.[22]

4) Painduvad PV elemendid

Painduvad PV elemendid on palju õhemad ja kergemad kui klassikalised mono- ja polükristall päikesepaneelid. Nende eelisteks on ka see, et neid saab vastavalt vajadusele painutada sobivasse asendisse mis muudab nende rakendamise kohati kergemaks. Puudusteks on aga märgatavalt madalam kasutegur, kõrgemad paigalduskulud ja väiksem mehaaniline vastupidavus.

2.2. PV tehnoloogial põhinevate päikeseelektrijaamade liigitus

Selles peatükis kirjeldab autor päikeseelektrijaamade liigitust nende paigaldusviisi järgi. Paigaldusviisi valik sõltub väga palju sellest kus on piisavalt vaba ruumi et neid päikesepaneele paigaldada. Lisaks sellele mõjutab päikesepargi tüübi valikut ka ümbruskaudne hoonestus ja haljastus, hinnatundlikkus jne.

2.2.1. Maapinnale rajatud PV park

Maapinnale rajatud päikeseelektrijaamasid saab jaotada kaheks: fikseeritud suunaga ja päikest järgiv park.

Fikseeritud suunaga park koosneb enamasti kas ramm-, või kruvivaiadele kinnitatud raamist või vundamendist ja sellele paigaldatud PV paneelidest. Lisaks nendele on päikesepargi osadeks veel inverter, kaabeldus, ja vahelduvoolukilp. Suurematel parkidel ka oma trafoalajaam ning kõrgepingeaparaadid. Fikseeritud suunaga pargi puhul on paneelid suunatud kindlasse ilmakaarde ning asetuvad fikseeritud nurga all maapinna suhtes.

Päikest järgiv park aga fikseeritakse maa külge vundamendi abil millele on paigaldatud motoriseeritud raamjalg. Päikese radiatsiooni mõõtes või kindlat programmi järgides pöörab süsteem paneelid sellesse suunda kus paneelid toodavad kõige rohkem elektrit. Süsteemi eeliseks on see, et juba üheteljelise päikese järgimise süsteemil on 25-35% suurem tootlikkus [23]. Tavakasutuses pole selline süsteem levinud oma keerukuse ja kõrge hinna tõttu.

2.2.2. Veekogul ujuv PV park

Kasutust leiab ujuv PV park kohtades kus veekogudel ei ole mingil põhjusel võimalik liigelda, või veekogud on kinniseks kuulutatud näiteks: joogiveereservuaarid, tööstusvee reservuaarid, veepuhastusjaamade veehoidlad (joonis 5), hüdroelektrijaama tammi lähistel. Sellistel juhtudel on mõttekas veekogude kasutusvõimalusi laiendada ja sinna rajada veepealne päikeseelektrijaam.



Joonis 5. Päikeseelektrijaama Godley veepuhastusjaama reservuaaril [24].

Veekogul ujuva süsteemi puhul asetsevad päikesepaneelide raamid vee peal ulpivatel poidel mis on omakorda ankurdatud kas veekogu põhja või kaldale. Inverterid paigaldatakse kas kaldale või ujuvsaartele. Sellise päikesepargi puhul peab tähelepanu pöörama päikesepaneelide ja kandraamide vastupanuvõimele vee ja mehaaniliste mõjude suhtes.

2.2.3. Katusele paigaldatav päikeseelektrijaam

Katusele paigaldatav park on võimalus kasutada muidu tühjana seisvat ala elektrienergia tootmiseks. Kõige suurema efektiga on see just erinevate tööstus- ja laohoonete katustel kus on enamasti palju vaba katusepinda ning tarbija on lähedal. Erinevatel katusetüüpidel on paigaldusraamistik erinev. Järgnevalt vaadeldakse lühidalt enamlevinud katusetüüpidele päikeseelektrijaama paigaldusvõimalustest. Katusele paigaldamise puhul aga määrab katus ära ilmakaare mille suunas päikeseпарк paigaldatakse.

Viilkatusele päikesepaneelide paigaldamine on paneeli kandekonstruktsioonide ehituse ja hinna poolest kõige parem. Olenevalt kas tegu on kivi- või-, trapetsprofiil plekkkatusega,

valtsplekkkatusega või kivikatusega paigaldatakse katusekattematerjali külge kandesiinid kas siis vahetult või siis spetsiaalsete klambrite abil. Pehme katusematerjali korral sõltub paigaldamise lihtsus palju katusekatte all olevast roovitusest. Järgneva etapina saab kandesiinide külge paigaldada päikesepaneelid.

Lamekatuse puhul tuleb enne tööd teostada katuse tugevusarvutused ja tuuletugevuse arvutused. Kui arvutustulemustena selgub, et katusele on võimalik paigaldada PV paneelid tuleb otsustada, kas paigaldada päikesepaneelide kandekonstruktsioon katusekattematerjalile ja tagada nende stabiilsus raskuste abil või „põletada” need katusekattematerjali külge kinni. Esimese variandi puhul saab raskusteks kasutada näiteks spetsiaalseid raskusi, kõnniteekive, kruusa või liivaga täidetud „vanne”. Nagu eelnevalt mainitud on lamekatusele mõeldud kandekonstruktsioonid märgatavalt kallima hinnaga seetõttu, et need on tehtud roostevabast terasest ja nendele kulub rohkem materjali.

Kolmandaks variandiks on paigaldada päikesepaneelid katusekattematerjali asemele mis on hea variant juhul, kui päikesepargi paigaldamise mõte on juba enne katusekattematerjali paigaldamist. Lisaks aitab see teataval määral rahaliselt hoida kokku katusekattematerjali arvelt ja näeb ka loomulikum välja.

Metallist katusekattematerjal mis toodab elektrit on alternatiiv just neile, kes ei taha oma maja visuaalset välimust muuta paigaldades katusele klassikalisi päikesepaneele. Esimene selline katus Eestis valmis Suurupis (joonis 6).



Joonis 6. Suurupis asuv Roofit.solar toodetud katus [25].

Kui aga hoone omanikule ei meeldi plekk-katuse lahendus või majale on juba paigaldatud kivikatus, siis neile on lahenduseks Solarstone poolt toodetud katusekividega ühilduvad päikesepaneelid (joonis 7).



Joonis 7. Solarstone poolt toodetav PV paneelide lahendus [26].

Ühe lahendusena on hetkel turul saadaval ka osaliselt läbipaistvad päikesepaneelid (joonis 8) mida saab kasutada näiteks varikatuste või aatriumide ehitusel. Tänu kaasaegsale

tehnoloogiale ei jää need soojusisolatsiooni ja tugevuse koha pealt alla klassikalistele katuseklaasidele[27].



Joonis 8. Osaliselt läbipaistev päikesepaneel [27].

2.2.4 Fassaadile asetuvad PV paneelid

Lisaks katusepinnale saab päikesepaneelidega katta või asendada maja viimistlusmaterjal ka maja välisfassaadil. Fassaadil kasutatakse päikesepaneele väga erinevatel viisidel: päikesevarjudena akende kohal, akende asemel, olemasolevale välisseinale kinnitades või projekteerides välisfassad elektrienergiat tootvatest elementidest. Päikesevarjudena paigaldatakse PV paneelid juhul, kui soovitakse vältida ruumide liigset soojenemist keskpäevase päikese ajal. Akende ja fassaadi asemel on võimalik kasutada eelmises peatükis kirjeldatud osaliselt läbipaistvaid PV paneele. Kõige lihtsam viis juba valmis maja puhul on paigaldada päikesepaneelid olemasoleva välisfassaadi peale. Otse siinidega maapinna suhtes 90-kraadise nurga all asetsevale fassaadile paigaldades, aga vähendab päikeseelektrijaama tootlikkust. Sellele on lahenduseks muudetava või fikseeritud nurgaga raamid. Seinale vertikaalselt paigaldamise juures on samas eelised näiteks talvisel madalalt paistva päikese korral mil tootlikkus suurem kui horisontaalselt või sellele ligilähedaselt paigaldatud päikesepaneelidel. Lisaks on nende isepuhastumine efektiivsem ja vertikaalselt paigaldatud paneelide peale ei kogune ka lumi.

2.3. Võrguühenduseta süsteem

Võrguühenduseta (*off-grid*) süsteem kujutab endast elektripaigaldist mis koosneb elektritootmiseseadme(te)st, salvestusseadmest, elektritarbijatest ja neid ühendavast paigaldisest. Enamasti otsustatakse võrguühenduseta süsteemi kasuks juhtudel kui liitumine üldisesse elektrivõrku on liiga kallis, pole võimalik elektrivõrguga liituda, ei olda rahul elektrivõrgu pakutava elektrikvaliteediga või soovitakse mitte sõltuda elektritootjatest ja võrguteenustest [28]. Suurimad puudused selle süsteemi juures on, et juhul kui elektritootmiseseade ei tooda piisavalt elektritootmist ei ole seda ka kuskilt juurde võtta ning elektritootmist mida kohapeal ära ei tarbita läheb raisku ja seda ei ole võimalik müüa.

Võrguühenduseta päikeseelektrijaam koosneb neljast põhiseadmest: PV paneelid, kontrollid, inverter ja akupank.

1) PV paneelid

Valida saab avatud ahela pinget järgi kas 12 V, 24 V või 48 V ja PV elementide arvu järgi paneelis 36-, 60- või 72 elementi.

2) Kontrollid

Valida on kas PWM või MPPT kontrolleri vahel.

PWM(*Pulse-With Modulation*) lülitub töörežiimi siis kui aku on täis laetud. Aku laadimise ajal laseb see läbi nii palju elektrit kui PV paneel/ahel toota suudab. Siis kui aku saavutab oma laetuse taseme hakkab kontrollid kiiresti lülitama akupatarei ja PV ahela vahelist ühendust sisse ja välja, hoides sedasi akupanga pinget. Sellega kindlustab kontrollid, et aku on efektiivselt laetud, ning kaitseb seda ülelaadimise eest. [28]

MPPT- (*Maximum Power Point Tracking*) töö avaldub kaudses ühenduses PV ahela ja akupanga vahel läbi DC/DC pingemuunduri mis võtab üleliigse PV ahela toodetud pinget ja muundab selle lisa elektrivooluks madalamal pingel kaotamata seeläbi võimsust. [29]

Tabelis 3. on välja toodud kahe kontrolleri vaheline võrdlus.

Tabel 3. PWM ja MPPT tüüpi kontrolleri võrdlus [29]

Omadused/tüüp	PWM	MPPT
Eelised	1/3- 1/2 võrra odavam kui MPPT kontrolleri	Kõrgeim laadimise efektiivsus (eriti külmas kliimas)
	Pikem eeldatav eluiga tänu vähemale elektroonikale ja väiksemale temperatuuritundlikkusele	Saab kasutada 60-elementide paneelidega
	Väiksem suurus	Võimalus ahelat üledimensioneerida et kindlustada piisav laetus talvekuudel
Puudused	PV ahelad ja akupank peavad olema hoolikamalt planeeritud ja või vajada rohkem projekteerimise kohemust	2-3 korda kallim kui PWM kontrolleri
	Ei saa efektiivselt kasutada 60-elementide paneeliga	Lühem eluiga tänu rohkele elektroonikale ja suuremale temperatuuritundlikkusele

3) Inverter valitakse vastavalt päikeseelektrijaama võimsusele.

4) Akupank planeeritakse selle järgi mis pingesüsteemis on PV ahel kui suur on tarbimine ja kui pikalt peab maksimaalselt akudes olev energia eramut elektrienergiaga varustama.

Lisaks nendele lisatakse vajadusel süsteemi varutoiteallikana elektrigeneraator või mõni muu elektritootmise seade.

Akupank on võrguühendusega süsteemi lahutamatu osa. Akupank koosneb omavahel ühendatud akudest. Akupanga olemasolu tagab selle, et hetkedel kui elektrienergia tootmise maht on väiksem kui tarbimine, siis võetakse puuduolev elektrienergia akupangast ja vastupidisel juhul, kui tootmine on tarbimisest suurem, siis laetakse akupanka. Akupankasid liigitatakse töös kahel viisil:

1) Laadimistsükli järgi

1. Madaltsükli akud (*Shallow cycle batteries*)

Need akud koosnevad õhukestest suure pindalaga plaatidest mis võimaldavad suurt voolutugevust lühiajaliselt ja tühjakslaadimist ainult kuni 20%. Sellised akusid saab kasutada näiteks sõidukite käivitamiseks, aga mitte PV süsteemides. [30]

2. Süvatsükli akud (*Deep cycle batteries*)

Süvatsükli akud koosnevad paksematest ja väikesema pindalaga plaatidest mis võimaldavad väikest voolutugevust pikemaajaliselt ja tühjakslaadimist kuni 80%. Süvatsükli akud on sobilikud PV süsteemide jaoks. [30]

2) Keemilise koostise järgi:

Keemilise koostise järgi on jaotus keerukam.

1. Pliihappe akud (*Lead acid batteries*) on üldlevinud energiasalvestamise seade PV süsteemides. Pliihappe akusid toodetakse 6 V ja 12 V. Pliihappe akud jagunevad omakorda 4 alagruppi: *Flooded cell type battery*, *Sealed/ Gel type battery*, *Gelled batteries* ja *Absorbed GAS MAT (AGM) batteries*. Pliihappe akude energiatihedus on 25-35 Wh/kg ja eluiga 250-750 tsüklit. Eelisteks on madal hind, suur efektiivsus ja lihtne käsitsemine aga puudusteks madal eluiga võrreldes teiste akutüüpidega. [30]
2. Nikkel-kaadium akul (*Ni-Cd*) on pliihappeakuga võrreldes pikem süvatsükli eluiga ja suurem temperatuuritaluvus. Kaadium on keskkonnanõuete tõttu välja vahetatud hübriidmetalli vastu. Selle akutüübi puhul on miinuseks aga n.n. mälu efekt mis ajapikku vähendab aku mahutavust. Mälu efekti tõttu tekkinud mahutavuse languse saab tagasi pöörata akut korra iga paari kuu järel täielikult tühjendades ja seejärel täis laadides. [30]
3. Nikkel- metallhübriid aku (*Ni-MH*) on suurema energiatihedusega edasiarendus Nikkel-kaadium akust. Nikkel- metallhübriid akul on väikesem mälu efekt ja see võimaldab suuri tipp-võimsusi. Seevastu on see kallim kui Nikkel-kaadium aku ja ülelaadimine vigastab kergesti seda akut. Selle energiatihedus on Nikkel-metallhübriid akul 65-75 Wh/kg ja eluiga 700 tsüklit. Eelisteks on hea süvatühjendus ja keskkonnasõbralikkus puudusteks on aga kallis hind, enesetühjenemine ja madal efektiivsus. [30]
4. Liitium-ioon aku (*Lithium ion battery*) energiatihedus on pliihappe akudest 3 korda suurem. Elemendi pinge on 3,5 V seega juba mõne elemendiga saab

piisava pinge. Liitium-ioon aku hind on kallim kui Nikkel-kaadium aku oma. Ülelaadimine kahjustab akut. [30]

5. Liitium- polümeer akude (*Lithium polymer batteries*) energiatihedus on 100-150 Wh/kg ja eluiga on 1000 tsükli. Eelisteks on pikk eluiga aga puudusteks kõrge hind ja madal turvalisus. [30]

2.4. Eramute valmidus päikeseelektrijaamade kasutamiseks.

Eramute valmidus päikeseelektrijaamade ehituseks on autori hinnangul üsna hea, kuna päikeseelektrijaama asukoha valik sõltub enamasti sellest, kus on piisavalt vaba pinda, et vajalik hulk PV paneele ära mahuks. Oma krundile päikeseelektrijaama rajamine on potentsiaalselt võimalik peaaegu kõigil. Tähele tuleb panna ainult muinsus- ja looduskaitsepiiranguid ja enne päikeseelektrijaama rajamist tuleb tegevus kohaliku omavalitsusega kooskõlastada. Katusele paigaldatavatest päikeseelektrijaamadest võib kõige rohkem probleeme tekkida lamekatustele paigaldatavate süsteemidega, mis on põhjustatud katuse kandevõimest, kuna jaama raamid fikseeritakse lisaraskustega. Katuse või fassadi asemele paigaldatavate PV paneelide korral tuleb arvestada olemasolevate materjalide ja tehnoloogiatega või alles ehitatavate majade puhul ette nähtud inseneritehniliste lahendustega.

Elektrilise ühenduse seisukohalt sõltub kõik sellest, kas soovitakse rajada võrguühendusega või võrguühenduseta PV parki. Võrguühendusega PV pargi puhul tuleb teha kõik väiketootja liitumisega seotud toimingud, kaasa arvatud elektri ostu-müügileping ja lasta võrguettevõttel paigaldada vajalikud mõõteseadmed. Võrguühenduseta pargi puhul on rajamisega kaasnevat formaalsust vähem. Elektripaigaldise ümberehituse maht sõltub sellest, kas olemasolevas paigaldises on valmidus tootmiseseadme ühendamiseks või mitte. Lihtsamal juhul piisab mõne kaitseaparaadi lisamisest, raskemal juhul tuleb aga teostada suuremad elektrikilbi ümberehitustööd ja peatoitekaablite vahetus.

2.5. PV tehnoloogia tulevik

Kuigi PV tehnoloogia on teinud suure arenguhüppe, pole selle arendamine seisma jäänud. Ikka soovitakse aina parema kasuteguriga ja eri otstarvetele sobilikumaid PV paneele,

suurema mahutavusega ja pikema elueaga akusid ja töökindlamaid ning suurema kasuteguriga inverterid. Ning mis kõige olulisem kliendile päikselelektrijaamade rajamisel on, et kogu tehnoloogia oleks taskukohane.

Esimeseks näiteks päikesepaneelide visuaalses arengus on läbipaistev päikesepaneel. Selle läbimurdeni jõudis Michigan State University kus toodeti läbipaistev päikesepaneel [31]. See leiutis aitab laiendada märgatavalt päiksepaneelide kasutusala võimaldades neid kasutada pilvelõhkujate akende asemel, telefonides ja isegi autode ehituses. Kuigi täielikult läbipaistvate päikesepaneelide kasutegur on hetkel 1% siis selle eeldatud potentsiaalne kasutegur on kuni 5% [31]. Lisaks sellele võime tulevikus järjest enam näha PV tehnoloogiat oma igapäevapäevaelus kasutatavate tarvikutega integreerituna. Järgnevalt tuuakse välja võimalikud igapäevased rakendused PV tehnoloogiale: PV elemendiga varustatud tänavavalgustid, telefonilaadijad, PV värviga kaetud esemed, telgid, rattalukud, seljakotid ja PV kangas [32].

3. ÜHEPEREERAMULE SOBIVA PÄIKESEELEKTRIJAAMA PÕHJENDUS

3.1. Näidiseramu üldine kirjeldus

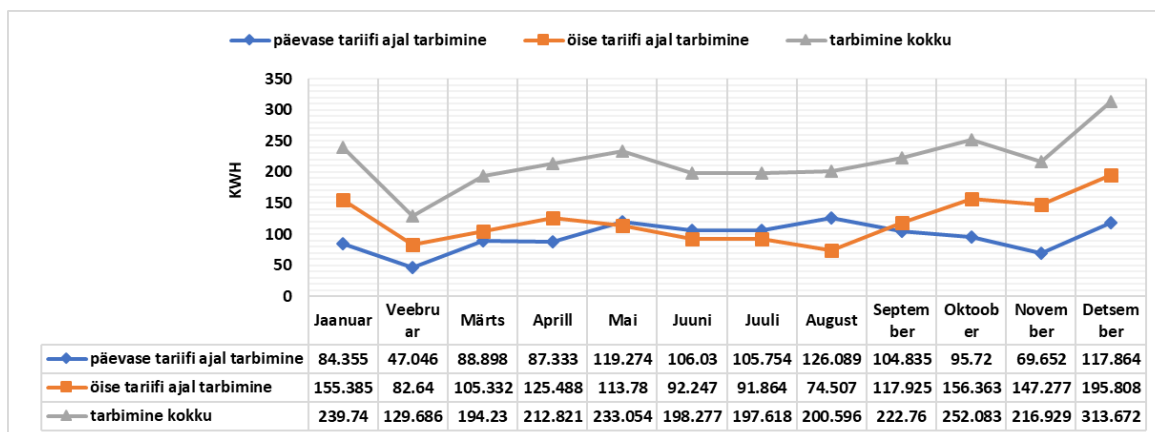
Ühepereelamule sobiva päikeseelektrijaama planeerimiseks võtsin näidiseramuks ühe 150 m² väikeeramu kus elab 5 liikmeline perekond. Maja on 35° nurga all oleva viilkatusega ja maja tagumine katusepool suunaga lõuna poole. Katuse tagumise külje mõõtmed on 7,3 m·16,2 m mis tagumise katusepinna kogupindalaks teeb 118.26 m². Maja tagumine katusepool on tehnosüsteemidest vaba seega saab seda täies ulatuses kasutada päikeseelektrijaama paigalduseks. Katus on kaetud trapetsprofiilplekiga mis võimaldab probleemideta PV paneelide otse katusele paigaldamist.

Maja küttesüsteem on lahendatud puitkütusega köetavatest ahjudest mis katab täielikult maja soojusenergia tarbe, mistõttu pole plaanis seda süsteemi välja vahetada.

3.2. Näidiseramu elektrisüsteem ja -tarve

Näidiseramu senise elektrienergia tarbimise analüüsimiseks laadis autor Eesti Energia iseteenindusest alla varasemad elektritarbimise andmed. Neid andmeid analüüsides jõudis autor tulemusteni mida järgnevalt kirjeldab.

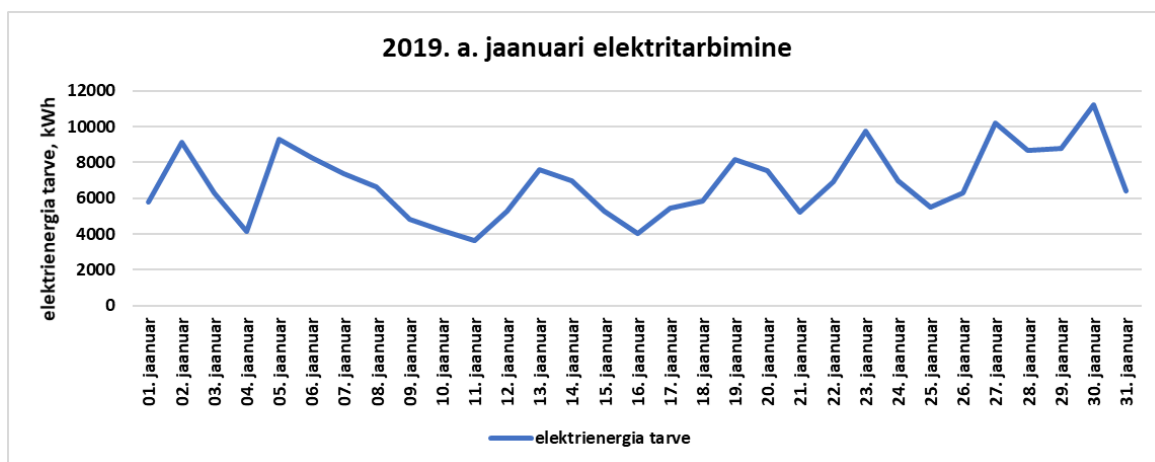
Aastase elektritarbimise iseloomu kirjeldamiseks analüüsis autor eramu 2017. aasta elektritarbimise andmeid. Joonisel 9. kujutatud graafikult saab järeldada, et maist septembrini tarbitakse elektrienergiat rohkem päevasel ajal, ülejäänud aasta aga öisel ajal. Kõige suurem elektritarbimine toimub kahel kõige külmemal ja pimedamal kuul: detsembris ja jaanuaris.



Joonis 9. Eramu aastase elektritarbimise analüüs.

Aastaseks kogutarbimiseks analüüsitaval aastal oli 2611.47 kWh, millest 1458,62 kWh tarbiti öise tariifiga ajal.

Kuna aga 2017. aasta kõige suurema tarbimisega kuu kohta puuduvad autoril tunnipõhised tarbimisandmed siis eramu tarbimise katmiseks vajaliku päikeseelektrijaama võimsuse leidis autor 2019. aasta jaanuari kuu tarbimist analüüsid (joonis 10).



Joonis 10. Eramu elektritarbimine 2019.a. jaanuari kuus.

Jaanuari kuu tarbiti elektrienergiat kokku 211,698 kWh, ning kõige suurema tarbimisega päeval tarbiti 11,201 kWh elektrienergiat, mille võtame maksimaaltarbimisena lähteandmeks edaspidistes arvutustes.

3.3. Valitud päikeseelektrijaama tehniline kirjeldus

3.3.1. Valitud päikesepargi tüübi kirjeldus

Päikeseelektrijaama tüübiks valis autor katusele paigaldatud päikeseelektrijaama. Selle tüübi kasuks otsustas autor maapinnale paigaldatud päikesepargi asemel seetõttu, et näidismajal on palju katusepinda ja sinna päikeseelektrijaama rajamisega, ei kasutata ära väärtuslikku maapinda mida saab kasutada näiteks põldude rajamiseks. Teiseks otsustamist lihtsustavaks asjaoluks on see, et näidiseramu katusekattematerjal on selline, et sellele saab päikesepaneeli paigaldada. Kuna katusepinda ei kasutata ühelgi teisel eesmärgil, siis on see sobiv viis kuidas selle pinna otstarvet suurendada. Päikeseelektrijaam projekteeriti 12,6 kW nimivõimsusega ja see koosneb 126 paneelist.

3.3.2. Valitud päikesepaneelide kirjeldus.

Päikesepaneelideks valis autor polükristall tehnoloogial põhinevad 12 V süsteemile mõeldud 100 W nimivõimsusega PV paneelid. Paneeli tehnilised andmed on toodud tabelis 4.

Tabel 4. Valitud PV paneeli tehnilised andmed [33]

Näitaja	Väärtus
Nimivõimsus, P_{max}	100 W
Pinge nimivõimsusel, V_{mp}	17,8 V
Avatud ahela pinge, V_{oc}	22,1 V
Lühisvool, I_{sc}	5,92 A
Voolutugevus tippvõimsusel, I_{mp}	5,62 A
Mooduli liik	P100W-12V
Temperatuurivahemik, min/max	-40 °C/ +85 °C
Tolerants	+/- 5 %
Mõõdud	1000·669·30 mm
Kaal, kg	8,1
Turvaklaasi paksus	3,2 mm

Seda tüüpi PV paneelid on mõeldud spetsiaalselt akulahendusega päikeseelektrijaamadele.

3.3.3. Valitud akupanga süsteemi kirjeldus.

Akupanga akuelementideks valis autor Victron Gel Deep Cycle Battery 12 V/ 220 Ah. Akusid täpsemalt kirjeldavad parameetrid on välja toodud tabelis 5.

Tabel 5. Akupanga jaoks kasutatud aku andmed [34]

Näitaja	Väärtus
CCA	1000 (0 F)
Toote eluiga	12 aastat (20 °C keskmine temp) – 3 aastat (40 °C)
Aku tehnoloogia	Suletud pliiaku (geel-elektrolüüt)
Kasutatav mahutatavus	220 Ah
Pinge, V	12
Mõõdud, cm	52,2·23,8·24,0
Kaal, kg	66
Tootjariik	Holland

Kuna akud on 12 V nimipingega, siis 48 V süsteemis kasutamiseks tuleb omavahel jadamisi ühendada 4 tükki, mis ühe jada pingeks teeb 48 V.

Tuginedes AEE Solar juhendmaterjalidele arvutab autor vajaminevate akude koguse [35]. Lähteandmeteks võtame peatükis 2.3 välja toodud jaanuarikuu kõige suurema tarbimisega päeva tarbimise 11201 Wh. Lisaks pidas autor mõistlikuks, et eramu võiks ainult akupanga toitel vastu pidada vähemalt 3 päeva.

Päevase elektritarbimise ampertundides leian järgmise valemiga:

$$E_p = \frac{E_{AC}}{U_{DCAP}} = \frac{11201}{48} = 233,35, \quad (3.1.)$$

kus E_p on päevane elektrienergia tarbimine ampertundides Ah;

E_{AC} - eramu poolt tarbitud elektrienergia Wh;

U_{DCAP} - akupanga nimipinge V.

Akupanga poolt välja antava energiahulga ühe päeva vajaduse katmiseks leian järgneva valemiga:

$$E = \frac{E_p}{\varphi_{inv.}} = \frac{233,35}{96} = 243,07, \quad (3.2.)$$

kus E on akupanga poolt väljaantav energiahulk Ah;

E_p - päevane elektrienergia tarbimine Ah;

Φ_{inv} - inverteri kasutegur %.

Akupanga vajamineva mahutavuse leian järgneva valemiga:

$$E_{AP} = \frac{E \cdot \alpha}{\%} \cdot \tau = \frac{243,07 \cdot 3}{50\%} \cdot 1 = 1458,42, \quad (3.3.)$$

kus E_{AP} on mahutavus Ah;

E - akupanga poolt välja antav energiahulk Ah;

α - süsteemi autonoomsuse päevade arv;

% - akupanga maksimaalne soovitatav tühjakslaadimise maht %;

τ - temperatuuritegur

Akupanga ühes jadas olevate akude arvu leian järgneva valemiga:

$$X_j = \frac{U_{AP}}{U_A} = \frac{48}{12} = 4, \quad (3.4.)$$

kus X_j on ühes jadas olevate akude arv tk;

U_{AP} - akupanga nimipinge V;

U_A - aku nimipinge V.

Akupangas rööbiti ühendatud jadade arvu leian järgneva valemiga:

$$X_r = \frac{E_{AP}}{E_A} = \frac{1458,42}{220} = 6,6 \approx 7, \quad (3.5.)$$

kus X_r on akupangas rööbiti olevate jadade arv tk;

E_{AP} - akupanga mahutavus Ah;

E_A - aku mahutavus Ah.

Näidismaja akupanga jaoks vajaminevate akude arvu leian järgneva valemiga:

$$X_A = X_r \cdot X_j = 7 \cdot 4 = 28, \quad (3.6.)$$

kus X_A on akupanga jaoks vajaminevate akude arv tk;

X_r - akupangas rööbiti ühendatud jadade arv tk;

X_j - Ühes jadas olevate akude arv tk.

Selle lahenduskäigu tulemusena, leidis autor, et näidismajale sobiv akupank koosneb 28st 220 Ah akust.

3.3.4. Valitud inverterite ja laadmiskontrollerite kirjeldus

Inverteriteks valis autor Victron Quattro 8000 48 V. Inverteri täpsemad andmed on tabelis 6.

Tabel 6. Iverter Victron Quattro 8000 andmed [36]

Näitaja	Väärtus
Faaside arv	3 või paralleelselt
Väljund AC ping	230 VAC $\pm 2\%$
Sisendpinge vahemik (V DC)	9,5-17 V/ 19-33 V/ 38-66V
Nullkoormus, W	45/ 50
Pidev väljundvõimsus, W	6500 (25 °C)- 5500 (40 °C)- 3600 (65 °C); 16000 tipp
Maksimum efektiivsus	94/ 96
Mõõdud	47,0·35,0·28,0
Kaitseklass	IP 21

Ja laadimiskontrolleriteks valis nädiseramu päikeseelektijaamale autor Victron Energy 85 A 48V MPPT mis 48 V süsteemi korral sobib kasutamiseks paneelidega koguvõimsusega kuni 4850 W [37].

3.4. Päikeseelektrijaama tootlikkus

Nädiseramule planeeritud päikeseelektrijaama aastase tootlikkuse leidmiseks kasutas autor veebiprogrammi PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*).

Päikeseelektrijaama võimsus on 12,6 kW ja kadudeks arvestati 14%.

Katuse kaldenurk on 35°

Programmi väljastatud andmed on leitavad tabelist 7.

Tabel 7. programmi PVGIS väljastatud andmed nädiseramu päikeseelektrijaama kohta

Kuu	Keskmine päevane elektritootlikkus, kWh	Keskmine kuine elektritootlikkus, kWh
Jaauar	7.52	233
Veebruar	16.40	459

Tabeli 7 järg.

Märts	33.80	1050
Aprill	45.10	1350
Mai	49.00	1520
Juuni	48.20	1450
Juuli	46.30	1440
August	42.40	1310
September	31.50	946
Oktoober	17.90	554
November	7.29	219
Detsember	4.82	149

Tabelit 7 analüüsid selgub, et näidiseramu katusele paigaldatavast päikeseelektrijaamast ei piisaks, et katta terve aasta eramu elektritarbimine. Kui lähtuda näidiseramu tarbimisanalüüsi tulemuste maksimaalsest päevasest tarbimisest milleks oli 11,201 kWh, siis rahuldaks antud päikeseelektrijaam eramu energiatarbe ära 9 kuul aastast.

Lähtudes aga tehtud tarbimisanalüüsi kuutarbimise andmetest mis on leitav graafikus 11 rahuldaks antud süsteem eramu elektritarbimise muutes 11 kuul aastast (tingimusel, et jaanuari ja novembri kuu tarbimises toimuvad vähesed tarbimisharjumuste korrigeerimised).

Kui aga planeerida päikeseelektrijaama võimsus vastavalt kõige väiksema tootlikkusega kuule, siis saame päikeseelektrijaama võimuseks 29,28 kW.

Selle tulemuseni jõudis autor järgmise valemiga:

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot E_2}{E_1} = \frac{12,6 \cdot 11,201}{4,28}, \quad (3.7.)$$

kus P_2 On päikeseelektrijaama võimsus väikseima tootlikkusega kuu järgi kWh;

P_1 - päikeseelektrijaama esialgne võimsus kWh;

E_2 - minimaalne soovitud päikeseelektrijaama tootlikkus päevas kWh/päev;

E_1 - esialgse päikeseelektrijaama minimaalne tootlikkus päevas kWh/päev.

Et sellist tulemust saavutada, peaks päikeseelektrijaam koosnema 293st 100W PV paneelist.

4. TASUVUSANALÜÜS

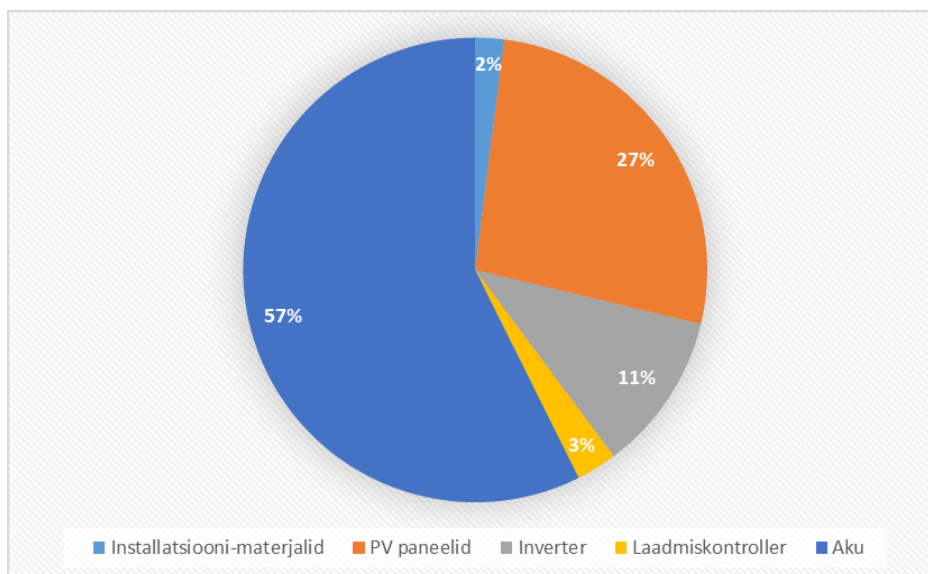
4.1 Soetuskulud

Päikeseelektrijaama soetuskulud on toodud ära tabelis 6. Päikeseelektrijaama seadmete soetamise hindades lähtusin hetkel veebipoodides saada olevatest hinnakirjadest. Kuna Paigaldustarvikute kohta ei õnnestunud autoril Eesti edasimüüjate hinnakirja leida, seetõttu kasutas autor välismaist allikat aastast 2015. Selle tõttu on antud tabelis paigaldustarvikute hind pigem informatiivne ja ligilähedane, kaldudes olema kallim hetke turuhindadest.

Tabel 8. Soetuskulud [38, 39]

Seade	Kirjeldus	Hind, €	Kogus, tk	Hind kokku, €
Paigaldustarvikud	Pistikud, kaabel, siinid, klambrid jne.			1376,8
PV paneelid	100 W 12 V	145,5	126	18333
Inverter	48 V	2525,94	3	7577.82
Laadmiskontroller	85 A 48 V MPPT	646	3	1938
Aku	12 V/ 220 Ah	702.00	56	39312.00
Kokku				68537,62

Kulude jagunemise proportsiooni ilmestab joonis 11.



Joonis 11. Soetuskulude jagunemise proportsioon.

Jooniselt 11 on selgesti näha, et üle poole soetuskuludest moodustab akude hind.

4.2 Hoolduskulud

Päikeseelektrijaama loetakse peaaegu hooldevabaks elektritootmise viisiks. Kuid täielikult hooldevaba see siiski pole. Päikeseelektrijaama pikema eluea ja tõrgeteta töötamise nimel tuleks seda siiski aeg-ajalt kontrollida. Kontrolltoimingute käigus tuleks vaadata, päikesepaneelide, põhiliste elektriseadmete ja kaabelduse seisukord. Esmalt tuleks visuaalselt kontrollida PV paneelide ja teiste seadmete terviklikkust seejärel tuleks kontrollida päikesepaneelide pealispinna puhtust. Kuigi Eestis peaks sademete hulk olema piisav, et need puhastaks päikesepaneelide pinda, siis võib juhtuda, et päikesepaneelidele satub mustus, mis sealt nii kergesti maha ei tule. Seetõttu tuleks vaadata kas paneelidele on sattunud sellist mustust mis vajab sealt eemaldamist. Lisaks sellele tuleks visuaalselt kontrollida ligipääsetavaid elektriühendusi, mis võivad aja jooksul amortiseeruda. Ühed sellised ühenduskohad on akude peal olevad klemmid, mis aja jooksul võivad korrodeeruda ja seetõttu halveneb nende elektriline kontakt.

Kontroll- ja hooldustoimingud on aga üsna lihtsasti teostatavad ka eelnevalt juhendatud päikeseelektrijaama omaniku poolt ja seega ei nõua lisa rahalisi väljaminekuid.

4.3 Võrguühenduseta päikeseelektrijaamadele makstavad toetused

Võrguühendusega päikeseelektrijaamadele saab taotleda taastuvenergia tootja toetust, aga võrguühenduseta süsteemi puhul seda saada pole võimalik, kuna võrku elektrienergiat ei müüda.

Siiski on ka võrguühenduseta päikeseelektrijaamadele olemas toetus läbi hajaasustuse programmi, mille eesmärk on tagada hajaasustusega maapiirkondades elavatele peredele head elutingimused. Ning seeläbi aidata kaasa elanike arvu püsimisele hajaasustusega maapiirkondades. Toetuse määr 2019. aastal on 67% kogu projekti maksumusest, aga maksimaalne toetussumma on 6500€. Kuna aga toetuse üks tingimustest on see, et elamu pole elektrivõrguga ühendatud, siis töös käsitletud näidiseramu päikeseelektrijaamale seda taotleda ei saa. [40]

4.4 Elektriostu kulud võrgust

Tasuvusaja arvutamisel on arvestatud kuludeks päikeseelektrijaama seadmete ja paigaldustarvikute hinda. Kasumina aga kokku hoitud raha selle pealt, et võrgust elektrienergiat enam ei osteta. Kuna näidismaja puhul on hetkel sidestus elektrivõrguga olemas siis hajaasustuse programmi paigaldustoetusi ei arvestata.

Autor võttis elektri hinnaks Eesti Energia poolt väljastatud aprilli kuu elektriarvel olevad hinnad (tabel 9) ja tarbimisandmeteks näidiseramu 2017 aasta tarbimise (joonis 9). Neid andmeid kasutades ja eeldades, et elektri hind ja tarbimine püsib järgneva 24 aasta jooksul samal tasemel leidis autor selle perioodi jooksul tehtavad kulutused võrgust elektrienergiat ostes.

Tabel 9. Elektriarvel kajastunud hinnad aprillis 2019

Teenus/toode	Hind, €/kWh
Elekter öö	0,0432
Elekter päev	0,0527
Elektri edastamine öö	0,0158
Elektri edastamine päev	0,0274
Taastuenergia tasu	0,0104
Elektriaktsiis	0,00447

Nende andmete baasil tehtud arvutustega leidis autor, et aastaks kuluks elektrienergia peale 217,23€ ja 24 aasta peale 5213,62€.

4.5 Tasuvus

Analüüsides peatükis 4.2. leitud soetuskulutusi ja elektrienergia võrgust mitteostmise pealt kokku hoitud raha leiab autor, et sellisel viisil ei tasu eramu elektrivõrgust lahti ühendamine ja autonoomseks muutmine ennast ära, sest alginvesteering on liiga suur. Arvestades kokkuhoiuks elektrienergia mitteostmise pealt säästmine ja kuludeks ainult soetuskulud ning pargi elueaks 24 aastat (mis on 2 komplekti akude eluiga) siis suudab töös käsitletud päikeseelektrijaam eluea jooksul tagasi teenida ainult 7,6% alginvesteeringust. Pika tasuvusaja põhjustab põhiliselt akude kallis soetushind ja lühike eluiga ning

võrguühendusest süsteemi päikesepaneelide väike tootlikkus ning kallis soetushind. Lisateguritena põhjustab näidiseramu päikeseelektrijaama pikka tasuvusaega ka sellele mitte kohalduv autonoomse elektrisüsteemi toetus mis aitaks soetuskulusid katta ja üle jääb elektrienergia mida ei saa edasi müüa.

KOKKUVÕTE

Päikeseelektrijaama rajamine on järjest kasvav trend seetõttu et inimesed on hakanud mõtlema, kuidas hoida tarbitava elektrienergia arvelt kokku ja ka riik on tulenevalt Euroopa liidu nõuetele hakanud toetama rohelist mõtteviisi ja väiketootmist. Tänu kasvavale nõudlusele on päikeseelektrijaama seadmete hind muutunud taskukohaseks paljudele. Päikeseelektrijaamasid rajatakse nii elektrienergia müümiseks, tootmishoonete ja eramute elektritarbe osaliseks katmiseks kui ka elektrivarustuse saamiseks asukohtadesse, kuhu elektrivõrk ei ulatu.

Oma väikeeramule päikeseelektrijaama planeerima hakates tasub esimese asjana mõelda, kas soovitakse võrgusidestusega päikeseelektrijaama või mitte. Teise valikuna tuleb otsustada lähtuvalt objektist kuhu soovitakse päikeseelektrijaam rajada, ning kas asukohavalik on otstarbekas. Seejärel tuleks analüüsida seniseid elektritarbimise harjumusi või arvutada prognoositav elektritarve. Järgnevalt saabki välja arvutada päikeseelektrijaama tootlikkuse ning vajaminevad seadmed. Päikeseelektrijaamade rajamisel on kaks võimalust: kas otsustada niinimetatud „võtmed kätte“ lahenduse kasuks või teha endale asjad selgeks ja panustada ise rohkem kogu protsessi.

Antud töös uuris autor võrguühenduseta päikesepargi rajamise mõtekust näidiseramu näitel. Selle jaoks analüüsis autor näidiseramu ehituslikke omapärasid ja elektritarvet. Nendest andmetest lähtudes projekteeris autor näidiseramule katusele paigaldatava 12 kW nimivõimsusega päikeseelektrijaama. Arvestades päikeseelektrijaama tootlikkust ja eramu tarvet valis autor elektrijaamale sobivad salvestus-, ülekande- ja muundeseadmed. Seejärel kõrvutades päikeseelektrijaama prognoositavat tootlikkust ja eramu tarbimist ning süsteemi maksumust jõudis autor järgmiste tulemusteni:

- 1) Näidiseramu päikeseelektrijaam ei suudaks eramu elektritarvet terve aasta jooksul katta. Probleemid tekivad päikesevaestel talvekuudel.
- 2) Suvekuudel on aga elektrienergia ületootmine väga suur ja kuna tegu on võrguühenduseta süsteemiga, siis ei saa seda elektrienergiat ka müüa.
- 3) Alginvesteering autonoomsesse päikeseelektrijaama on liiga suur, et see arvestatud 24-aastase eluea jooksul ära tasuks.

Nendest tulemustest järeldab autor, et sellisel viisil ei tasuks autonoomne päikeseelektrijaam

ennast ära.

Autori poolt välja pakutud võimalikeks lahendusteks oleks:

- 1) Võrgu olemasolul jääda siiski võrguga ühendatuks, et suvel ülejääk võrku müüa ja selle abil tasuvusaega vähendada.
- 2) Lisaks päikeseelektrijaamale paigaldada veel üks elektritootmiseseade näiteks tuulegeneraator või sobilike tingimuste olemasolul hüdroelektrijaam.
- 3) Võrguühenduse puudumisel taotleda hajaasustuse programmi poolt pakutavaid toetusi mis aitab soetuskulusid katta.
- 4) Investeerida eramu elektritarbimist juhtivatesse sedmetesse, et tarbimist paremini jaotada.
- 5) Võimalusel asendada suuremad elektritarbijad välja alternatiivsete vastu, näiteks elektripliit ja -boiler gaasiseadmete vastu.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv „taastavatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta“. (2017). Brüssel.
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:3eb9ae57-faa6-11e6-8a35-01aa75ed71a1.0019.02/DOC_1&format=PDF. (05.03.2019)
2. Taastuvenergia aastaraamat 2016. (2017). Tallinn: Eesti Taastuvenergia Koda
www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2017/06/TEK_aastaraamat_2016_A4_5mmBleed_31.05.2017-1.pdf. (05.03.2019)
3. Audioloeng. **Trevor J. Price**. Blyth James. [WWW].
<https://www.oxforddnb.com/view/10.1093/ref:odnb/9780198614128.001.0001/odnb-9780198614128-e-100957> (10.03.2019)
4. Tuuleenergia assotsiatsioon. Tuuleenergia Euroopas ja maailmas. Euroopa tuuleenergia Statistika. [WWW]
<http://www.tuuleenergia.ee/about/tuuleenergia-euroopas-ja-maailmas/> (05.03.2019)
5. Taastuvenergia kattis mullu 17,1 protsenti elektri kogutarbimisest. (2019). [WWW].
<http://www.tuuleenergia.ee/2019/01/taastuvenergia-kattis-mullu-171-protsenti-elektri-kogutarbimisest/> (05.03.2019)
6. Biomassi ja bioenergia kasutamise edendamise arengukava aastateks 2007-2013. (2007). [WWW].
<https://www.agri.ee/sites/default/files/public/juurkataloog/BIOENERGEETIKA/bioenergia.pdf> (15.03.2019)
7. **Allik, A., Annuk, A.** (2018). An Alternative Approach to the Feasibility of Photovoltaic Power Stations in Light of Falling PV Panel Prices.- Proceedings of the International Conference on Renewable Energy Research and Applications 2018. Tartu: Eesti Maaülikool, lk 270-274.
8. Renewables 2018 Global Status Report. [WWW].
http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_-1.pdf (20.03.2019)

9. Largest Solar Power Plants in the World. (2019). [WWW].
<https://solarvest.my/2019/02/28/largest-solar-power-plants-world/> (20.03.2019)
10. **Savin. M.** Solar Farms Explained- AEN News. (2018). [WWW].
<https://www.alternative-energies.net/photovoltaic-power-stations-today/> (20.03.2019)
11. **Savin. M.** Longyangxia Dam Solar Park in China is now the biggest solar farm in the world. (2017). [WWW].
<https://www.alternative-energies.net/longyangxia-dam-solar-park-in-china-is-now-the-biggest-solar-farm-in-the-world/> (20.03.2019)
12. Enel Green Power Mexico inaugurates Villanueva, largest solar PV plant in the Americas. (2018). [WWW].
<https://www.enelgreenpower.com/media/news/d/2018/03/enel-green-power-mexico-inaugurates-villanueva-largest-solar-pv-plant-in-the-americas> (20.03.2019)
13. **Wesoff. E.** Solar Star, Largest PV Power Plant in the World, Now Operational. (2015). [WWW].
<https://www.greentechmedia.com/articles/read/solar-star-largest-pv-power-plant-in-the-world-now-operational#gs.5moifs> (20.03.2019)
14. Energiapartner OÜ. Erakliendi lahendus. [WWW].
<https://energiapartner.ee/paikeseenergia/erakliendi-lahendus/> (06.04.2019)
15. Trükikojale Greif ehitatakse päikeseelektrijaam. (2018). [WWW].
<https://keskkonnatehnika.ee/trukikojale-greif-ehitatakse-paikeseelektrijaam/> (06.04.2019)
16. Eesti suurim päikeseelektrijaam kerkis paari kuuga. (2017). [WWW].
<http://www.hiiuleht.ee/2017/04/eesti-suurim-paikeseelektrijaam-kerkis-paari-kuuga/> (06.04.2019)
17. Estiko Energia sõlmis Maaametiga lepingu päikesepargi rajamiseks. (2019). [WWW]
<https://www.estiko.ee/uudised/estiko-solmis-maaametiga-hoonestusoiguse-lepingu-paikesepargi-rajamiseks> (07.04.2019)
18. Päikesepargi detailplaneering. Seletused ja joonised. (2017). [WWW].
https://www.maaamet.ee/sites/default/files/news-related-files/6._paikesepargi_dp_seletuskiri_.pdf (07.04.2019)
19. **Bellerini. E.** Solar installations see an unprecedented boom in Estonia. (2019). [WWW].

- <https://www.pv-magazine.com/2019/01/22/solar-installations-see-an-unprecedented-boom-in-estonia/> (14.04.2019)
20. 7 Different Types of Solar Panels Explained. (2019). [WWW].
<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels> (15.04.2019)
21. **Strachala. D., Hylsky. J., Vanek. J., Fafilek. G., Jandova. K.** (2017). Methods for recycling photovoltaic modules and their impact on environment and raw material extraction.- Acta Monistica Slovaca. Nr. 2. pg. 257-269.
22. **Berret. A.** Solar PV-T systems- what are the pros and cons?. (2017). [WWW]
<http://www.yougen.co.uk/blog-entry/2833/What+are+the+advantages+of+Hybrid+Solar+Panels%273F/> (15.04.2019)
23. **Marsh. J.** Solar trackers: everything you need to know. (2018). [WWW].
<https://news.energysage.com/solar-trackers-everything-need-know/> (15.04.2019)
24. **Gosden. E.** United Utilities installs Europe's largest floating solar power project on reservoir. (2015). [WWW].
<https://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/energy/11954334/United-Utilities-floats-3.5m-of-solar-panels-on-reservoir.html> (15.04.2019)
25. **Kald. I.** Eesti idu arendab suurfirmaga päikesekatust. (2018). [WWW].
<https://www.ituudised.ee/uudised/2018/10/23/eesti-idu-puuab-paikesekatusega-maailma-jouda> (19.04.2019)
26. Solarstone galerii. [WWW].
<http://www.solarstone.ee/galerii-2> (19.04.2019)
27. Solar-constructions. Transparent solar panel. [WWW].
<http://www.solar-constructions.com/wordpress/transparent-solar-panels/> (19.04.2019)
28. **Särg. J.** Võrguvaba (off-grid) lahendused väikemajapidamisetele. [WWW].
<http://www.energiaveteran.ee/gallery/v%C3%B5rguvabad%20lahendused%20kodumajapidamistele%202018.pdf> (04.05.2019)
29. Comparing PWM & MPPT Charge controllers. (2015). [WWW].
<https://www.phocos.com/wp-content/uploads/2015/12/Guide-Comparing-PWM-MPPT-Charge-Controllers.pdf> (04.05.2019)

30. **Ponnusamy. M.** (2013). An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems.- International Journal of Computer Applications. No 12. pg. 28-32.
31. Transparent Solar Panels. (2019). [WWW].
<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/02/transparent-solar-panels> (04.05.2019)
32. **Crawford. M.** 9 Innovations in Solar PV technology. (2017). [WWW].
<https://www.asme.org/engineering-topics/articles/energy/9-innovations-solar-pv-technology> (04.05.2019)
33. Päikesepaneel 100W, 12V Süsteemile, Polükristall. [WWW].
<https://www.päikesepaneelid.ee/online/home/60-päikesepaneel-100w-12v-süsteemile-polükristall.html> (13.05.2019)
34. Victron AGM Deep Cycle Battery 12V/220Ah. [WWW].
https://paikeseenergia.ee/Päikeseakud/victron-12v_aku_m8_keermestatud-220Ah (16.05.2019)
35. **Teitelbaum. B.** Designing a Battery-Based System Step-By-Step. (2016). [WWW].
https://aesolar.com/wp-content/uploads/2016/06/2016DC-Designing-Battery-Based-System.pdf?fbclid=IwAR0bI_Q0sRQ_JO6ERklqh2wKfFFltsEfr4n0KHRaSm-BGfDPQw9wuazePo0 (16.05.2019)
36. Victron Quattro 8000 24/48V. [WWW].
https://paikeseenergia.ee/inverter-autonoomne/victron-inverter_laadija-Quattro-24-8000 (17.05.2019)
37. Laadimiskontroller Victron Energy 85A 12/24/48V MPPT. [WWW]
<https://www.päikesepaneelid.ee/online/home/58-laadimiskontroller-victron-energy-85a-mppt.html> (17.05.2019)
38. OÜ Helioest. Eletkritarvikud. [on-line].
<https://paikeseenergia.ee/elektritarvikud> (17.05.2019)
39. Mounting systems for solaar technology. (2015). [WWW]
https://solarity.cz/download/K2_pricelist_4-2015.pdf (18.05.2019)
40. Hajaasustuse programm. (vastu võetud 22.02.2018, viimati jõustunud 01.03.2018)- Riigi teataja.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/117082018007https://paikeseenergia.ee/index.php?route=common/home> (18.05.2019)

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Kristjan Loite,

Sündinud 02.01.1996

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
PV paneelide ja akupanga süsteemi tasuvusanalüüs eramule,
mille juhendaja on Heiki Lill, MSc,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 24.05.2019

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)